

OUVRAGE COLLECTIF

Les enjeux de la transition énergétique au Viêt Nam et en Asie du Sud-Est

Coordinateur scientifique

Stéphane LAGRÉE

École française d'Extrême-Orient, ÉFEO



MAISON D'ÉDITION DE LA CONNAISSANCE

2.2. Outils d'analyse des filières biomasse-énergie

Hélène Dessard, Denis Gautier, Laurent Gazull - CIRAD

(Retranscription)

Journée 1, lundi 10 juillet

Présentation des formateurs et des stagiaires (cf. liste des stagiaires et biographies).

[Laurent Gazull]

Nous allons travailler ensemble sur les outils de représentation, de compréhension et d'analyse d'une filière pensée comme un système. La notion de filière d'approvisionnement en bois-énergie ou en biomasse-énergie d'un village, d'une ville ou d'un pays sera notre fil conducteur ; une filière est un ensemble d'acteurs et d'opérations qui transforment un produit de base – canne à sucre, bois – en produit fini – éthanol, charbon de bois.

2.2.1. L'analyse systémique : concepts et méthodes

[Denis Gautier]

Ma présentation renvoie au questionnaire posé lors de la synthèse des séances plénières proposée par Alexis Drogoul : comment appréhender la complexité des choses ?

La définition la plus courante du mot système tient en ces quelques mots : « un ensemble d'éléments en interaction ». Une telle définition, trop générale, ne peut suffire à donner un cadre rigoureux à cette notion. Une seconde définition, relativement répandue elle aussi, s'exprime en ces termes : « un système est un ensemble d'éléments en interaction dynamique, organisés en fonction d'un but ». Outre la caractérisation de l'interaction, dynamique, et non statique, cette définition introduit l'idée de finalité. Bien que plus complète, cette définition n'en est pas moins à nouveau très générale. La tentative de saisie du concept de « système » par une définition semble donc malaisée. Elle doit plutôt se faire par l'enrichissement indirect du concept de système à travers la description de ses principales caractéristiques et propriétés.

Avant d'aborder ces deux questions, il faut retourner aux aspects de genèse et considérer le rôle important de l'analyse systémique dans la manière d'aborder les phénomènes par les scientifiques.

Il faut se rappeler que pendant longtemps on simplifiait la manière d'appréhender les faits scientifiques et que cette manière passait par une décomposition élémentaires. On mettait de côté tout ce qui allait effectivement au-delà de la simplicité. La microéconomie par exemple parle des agents économiques et cherche à comprendre les habitudes de consommation et les comportements de production. À l'opposé, la vision macro-économique globalise les choses : on parle de groupes, de groupes de sociétés, de groupes sociaux, d'agréats. Entre les deux visions, se posait la question de savoir comment parler de la complexité, comment admettre que dans un scénario de prospective, il puisse y avoir des incertitudes, des irréversibilités et que des phénomènes dus au hasard jouent un rôle important comme le soulignait Gaël Giraud en plénière inaugurale.

L'analyse systémique essaie de répondre à ce défi justement ! Elle se présente comme une méthode de résolution des problèmes et, à partir de là, elle admet la complexité comme un outil, important à mettre en place. Elle pose la question des comportements : comment modifier les comportements d'agents dans un système. Et enfin, elle réfléchit sur les perspectives en termes de politiques publiques, de politiques sociales voire en termes de politiques environnementales puisque l'on peut être amené à prendre une série de décisions intégrant cette irréversibilité.

Photo 4. Pères fondateurs de la systémique



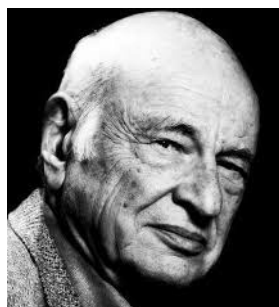
Norbert Wiener



Ludwig von Bertalanffy



Jay Forrester



Edgar Morin

↓
La théorie générale des systèmes

↓
La méthode

Source : construction de l'auteur.

Depuis les années 1930 s'est développé un courant de pensée dit « systémique » né de la prise de conscience de la complexité. L'ambition des pères fondateurs était de mettre au point des

méthodologies permettant de surmonter les difficultés rencontrées dans la tentative d'appréhension des problèmes complexes par les outils analytiques existants. Durant trois décennies, le dialogue constructif entre différentes disciplines scientifiques donnera naissance aux grands principes qui sont au fondement de l'analyse systémique. Ce dialogue a lieu pour l'essentiel au sein du prestigieux *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) à Boston.

Norbert Wiener, professeur de mathématique au MIT va tenir un rôle important sur la manière d'appréhender scientifiquement l'analyse systémique. Il parle alors de « cybernétique ». Il travaille sur les systèmes de la *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) et les systèmes d'armement et il a pour ambition de savoir comment communiquer entre ces systèmes et comment anticiper les comportements des pilotes d'avion, des satellites. Wiener réfléchit en fait sur la manière de complexifier les méthodes et programmes de la NASA. La deuxième personne est le biologiste Ludwig von Bertalanffy. Celui-ci va comprendre qu'un système est toujours ouvert, des flux rentrent et sortent. Le système est ouvert et devient ainsi auto-organisé. Le système est en fait capable d'exister par lui-même, de fonctionner par lui-même, il évolue et forcément l'auto-organisation joue un rôle essentiel. Bertalanffy est l'auteur d'une œuvre première : la théorie générale des systèmes. La troisième personne est Jay Forrester qui vient aussi du MIT et qui va travailler sur le fameux modèle de simulation de l'effet catastrophe sur l'épuisement des ressources naturelles, travail relaté dans le rapport Meadows (Meadows *et al.*, 1972). On peut rajouter à ce trio une quatrième personne qui ne parle pas de systémique en tant que telle mais qui a une capacité à naviguer dans l'incertitude, le hasard et la complexité : le sociologue et philosophe français Edgar Morin.

Quel que soit le niveau de complexité des systèmes, ceux-ci présentent un certain nombre de caractéristiques communes :

- tout d'abord, sous peine de disparaître, les systèmes sont en relation permanente avec leur environnement. On parle de l'ouverture du système. Les systèmes que nous serons amenés à étudier sont en interaction constante avec leur écosystème qu'ils modifient et qui les modifie en retour ;
- ensuite, les systèmes peuvent être décrits par un certain nombre d'éléments tels que leurs composants, les relations entre ceux-ci, leur frontière, etc. Une méthode classique utilisée pour étudier un système est la double caractérisation par l'aspect structural et fonctionnel ;
- les systèmes sont caractérisés par le principe d'arborescence, c'est-à-dire que les éléments de tout système sont hiérarchisés en niveaux d'organisation, ce qui légitime en particulier la décomposition d'un système en sous-systèmes ;
- les systèmes sont finalisés. La finalité qui détermine le comportement du système de manière transcendante se manifeste par exemple par une capacité à maintenir leur équilibre par des phénomènes de régulation ;
- les systèmes ont besoin de variété, condition *sine qua non* à la capacité d'adaptation, et donc de survie, de tout système ;
- enfin, les systèmes sont auto-organisateurs. Ils possèdent la double capacité à l'adaptabilité et au maintien de la cohérence interne en vue de la finalité qui est la leur. Cette capacité repose en

grande partie sur l'équilibre assuré par la complémentarité des rôles amplificateur des boucles de rétroaction positives et régulateur des boucles de rétroaction négatives.

Un principe rétroactif est un principe qui s'applique lorsque l'effet rétroagit sur la cause et amplifie ou diminue le nouvel effet. Il s'applique en particulier à tous les principes non linéaires que l'on peut trouver dans la plupart des questions sociales et environnementales : changement climatique, déforestation, disparition de la biodiversité, exode rural, désertification, disparités sociales, migrations, etc.

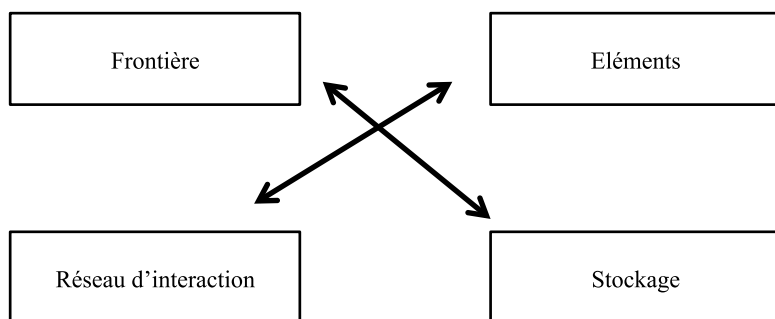
L'analyse systémique se pose sur une architecture importante.

L'aspect structural correspond à l'organisation dans l'espace des différents éléments du système alors qu'à travers l'analyse fonctionnelle, il s'agit plus particulièrement de caractériser les phénomènes dépendant du temps : flux, échanges, transfert, etc. Ainsi, les principaux traits structuraux de tout système sont sa frontière, ses éléments constitutifs, les réservoirs ou stocks, et les principaux réseaux de communications. Les traits fonctionnels du système, quant à eux, sont les flux d'énergie, de matière ou d'information, les vannes contrôlant les débits des différents flux, les délais et les boucles de rétroaction.

[Laurent Gazull]

Une demande se traduit par des flux d'énergie, d'argent, de matière, d'aliments ou bien plus simplement par des flux d'information.

Schéma 4. Aspect structurel d'un système



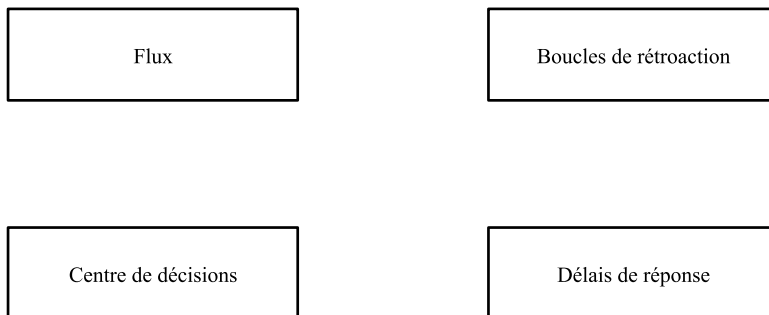
Source : construction de l'auteur.

[Denis Gautier]

L'architecture d'un système est avant tout structurelle. Elle renvoie à plusieurs questions :

- un système a des frontières. Un système sera ainsi toujours défini par ses frontières et c'est un enjeu important que de les définir ;
- un système renvoie aux éléments qui le constituent. Quels sont les agents qui vont définir ce système ? Quand on parle d'un écosystème par exemple, on peut imaginer que la faune, la flore mais aussi l'humain constitue ces différents éléments ;
- on conçoit que ces éléments rentrent en interaction. L'information circule : celui qui émet, celui qui reçoit et les biais cognitifs. Quand vous percevez un message, êtes-vous sûr d'avoir bien compris ce message ? ;
- un système tel qu'un écosystème renvoie au stockage : comment stocker l'information ? Comment décrypter l'information ? Et en quoi ce stockage devient utile pour comprendre l'évolution du système ?

Schéma 5. Aspect fonctionnel d'un système



Source : construction de l'auteur.

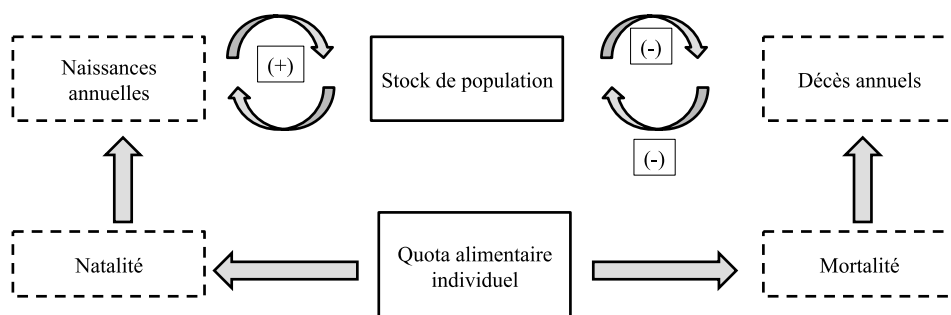
Progressivement, l'approche systémique a été au-delà de l'approche structurelle. Cela a permis l'appréhension d'un fonctionnement car lorsque l'on parle d'aspect fonctionnel, on évoque les flux.

Pendant longtemps, on stockait et on jouait sur les capacités de stockage des éléments. Désormais on estime que les flux, d'énergie, de matière ou d'information ont joué un rôle important dans l'approche systémique. Et puis surtout, on va considérer que derrière ces flux, il y a des gens qui prennent des décisions. Les centres de décision transmettent l'information – l'information sur les flux par exemple – et, en même temps, la décrypte pour éventuellement la modifier, ce qui va influencer sur la compréhension systémique.

Un système a des boucles. Certaines sont des boucles à rétroaction positive : elles vont amplifier le phénomène ; d'autres boucles sont négatives et vont stabiliser le phénomène. Tout modèle, tout cycle systémique a ce genre de boucles positives ou négatives.

Enfin quatrième élément fonctionnel : le délai de réponse. Tous les systèmes n'ont pas les mêmes délais de réponse. La nature a besoin de temps pour réagir ; la croissance économique, un paysan dans le besoin immédiat, est dans le court terme. Ce délai peut être à l'opposé de l'intérêt sur un temps long. C'est toute l'ambiguïté que l'on voit aujourd'hui quand on étudie le système planétaire, entre la nécessité d'une croissance économique et la difficulté d'une régulation environnementale. Prenons une approche systémique avec la boucle de population du rapport Meadows.

Schéma 6. Un exemple d'approche systémique : la boucle de population



Source : construction de l'auteur.

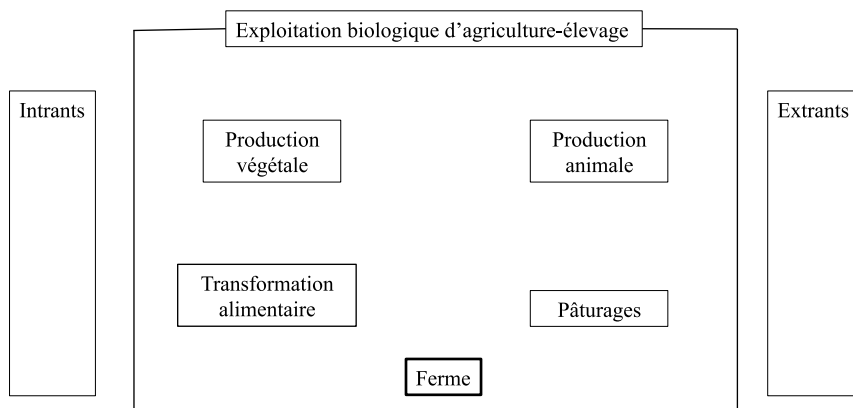
Si le quota alimentaire individuel venait à augmenter dans un pays en développement, si le taux de natalité venait à augmenter, la richesse par individu baisserait. La boucle est exponentielle et déstabilise le système. À l'opposé, un taux de mortalité relativement important et une baisse du quota alimentaire par personne réduira une population donnée.

L'approche systémique permet de comprendre la complexité des phénomènes en intégrant les conditions et les opportunités socioéconomiques et/ou environnementales. La régulation des systèmes repose fondamentalement sur l'articulation entre les différentes boucles de rétroaction et cet arrangement n'est pas le fruit du hasard.

Passons à l'application de l'analyse systémique à partir d'une étude de cas des agro-écosystèmes.

Prenons l'exemple d'une exploitation en agriculture biologique, avant et après l'implantation du biogaz, afin d'évaluer les implications sur le fonctionnement de l'exploitation. Ce schéma reproduit ce qui a été modélisé pour une ferme organique.

Schéma 7. Étude de cas : exemple d'une transition énergétique à l'échelle d'une exploitation agricole



Source : construction de l'auteur.

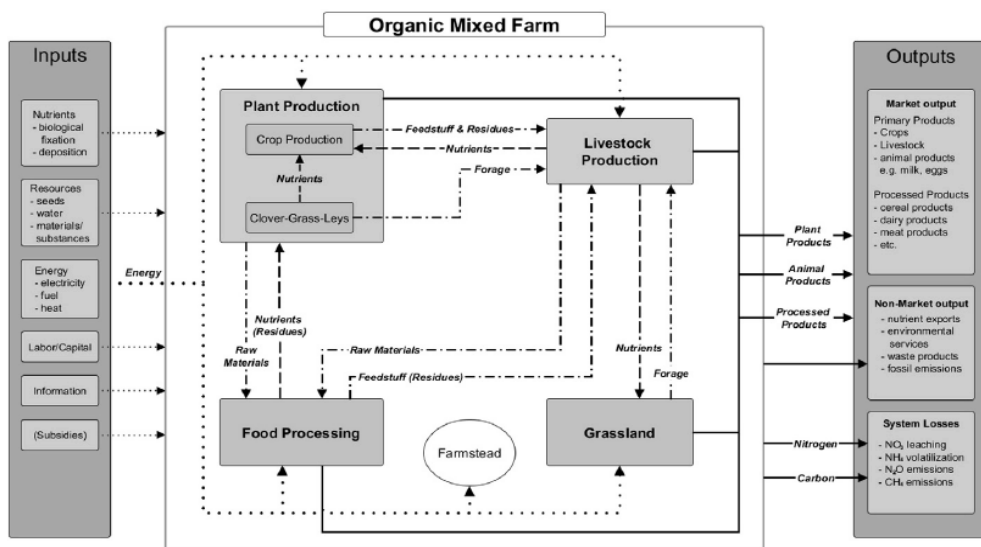
Les stagiaires se répartissent en groupes de travail. Dans un premier temps, il s'agit d'intégrer des échanges au sein de la ferme organique d'agriculture d'élevage – flux financiers, de matières, d'énergie, d'informations, etc. À partir des éléments constitutifs de l'exploitation, l'atelier doit réfléchir à l'ensemble des liens possibles et construire un modèle systémique sans biogaz puis avec biogaz. Le produit de la réflexion est ensuite restitué oralement par un représentant de chaque groupe.

Voici un modèle sagittal d'une exploitation agriculture-élevage organique avec les intrants à gauche, les extrants y compris les pertes en carbone et en nitrogène avec un zoom sur les interrelations sous-systémiques d'énergie en pointillé, de nutriments en fragmenté et de flux de matériel en point-trait. (cf. schéma 8)

Concernant les intrants, les nutriments biologiques permettent la fixation de la matière organique. En l'absence de biogaz, l'énergie est apportée par l'électricité et le fuel. On note de l'apport en travail, capital, information, mais aussi des subventions car les fermes organiques sont considérées vertueuses d'un point de vue environnemental. Pour les extrants, vont sur le marché les céréales, les animaux et les produits dérivés – des produits sont également transformés, comme le lait par exemple. Il y a une idée de transformation alimentaire au sein de l'exploitation.

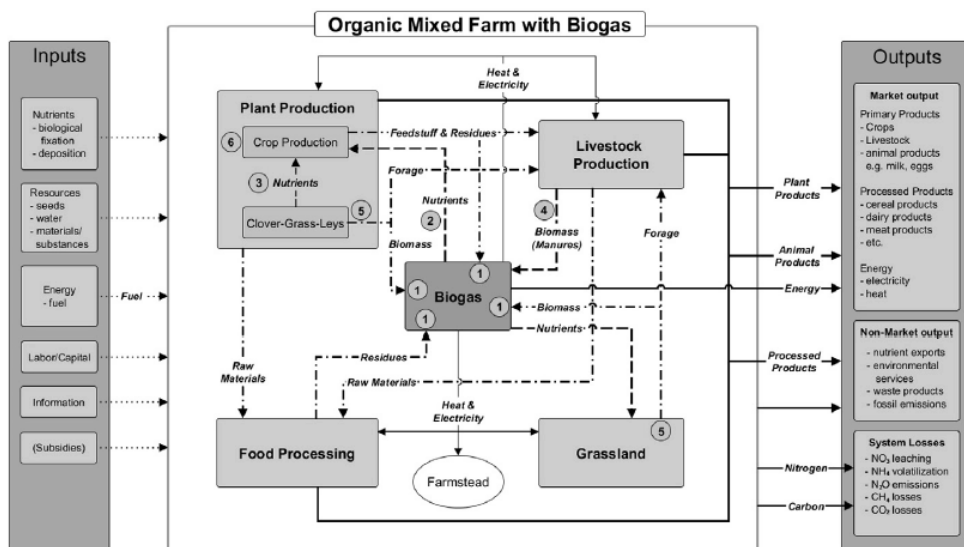
Dans un deuxième temps, le schéma indique l'exportation de nutriments, de déchets. Il y a aussi des services environnementaux : la ferme peut proposer des services pour les fermes voisines qui utilisent des engrais. On note de la pollution liée à des émissions fossiles.

Schéma 8. Ferme organique mixte



Source : Siegmeyer et al., 2015.

Schéma 9. Ferme organique mixte avec biogaz



Source : op. cit.

Les auteurs ont clairement marqué les différents flux – en pointillés, les flux d'informations ; en tirets, les nutriments et en tirets-pointillés, les matériaux.

Prenons un exemple : les animaux vont fournir des nutriments ; en échange, ce qui est ramassé dans les pâturages est destiné au fourrage pour la production animale. Enfin, une différence est faite entre la pâture – c'est à dire les animaux qui viennent pâture sur la prairie – et les productions de fourrage.

Examinons la seconde phase avec implantation de biogaz. (cf. schéma 9)

Les effets agronomiques de l'intégration du biogaz dans l'exploitation peuvent être conceptualisés dans le même modèle sagittal. Au centre, on introduit du biogaz pour une transition énergétique du fonctionnement de l'exploitation – disparition de l'électricité.

- En (1), nous avons l'utilisation des ressources en biomasse sous-utilisées ou non-utilisées et des déchets qui permettent d'augmenter la disponibilité en nutriments ;
- en (2), cela permet d'améliorer la nutrition de la plante grâce aux digestats du biogaz ;
- en (3), une amélioration de la fixation de nitrates par les légumineuses ;
- en (4), une réduction des pertes de nitrogène et des émissions de gaz à effet de serre du stockage de fumier et de son épandage ;
- en (5), une réduction du potentiel de mauvaises herbes par un paillage ;
- et enfin, en (6), un accroissement des rendements des cultures et de la qualité des productions.

La critique à apporter est que les points (3) et (5) ne sont pas liés au biogaz.

[Laurent Gazull]

Nous sommes en présence d'un schéma vertueux et théorique de la ferme organique et de l'installation du biogaz. L'hypothèse est liée au contexte européen. Le développement des plantes de couverture pour l'agriculteur est intéressant si l'on valorise et produit de l'énergie à partir de ces plantes essentiellement cultivées afin de conserver un couvert végétal sur le sol. Pourquoi ne veut-on pas de sol nu ? Les principales raisons sont la lutte contre l'érosion (pluies, vent), la pousse des mauvaises herbes et, de fait, l'enrichissement du sol.

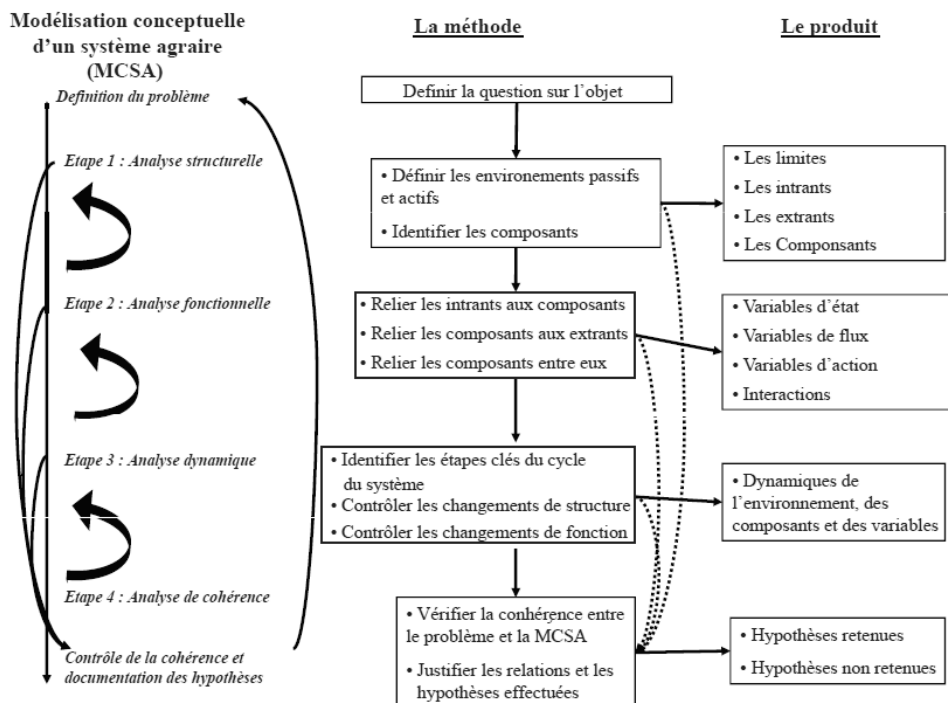
En Europe, des subventions sont disponibles pour l'introduction de plantes de couverture à destination de l'énergie. L'intérêt d'une unité de production d'énergie avec plantes de couverture en association avec des résidus de l'élevage est que l'exploitant verra immédiatement sa facture d'électricité ou de gaz diminuée. L'introduction d'une production de biogaz induit une subvention pour le développement de plantes de couverture qui aura pour effet une réduction des dépenses en électricité.

Il manque à ce schéma les flux d'énergie en lien avec le biogaz. Il est supposé que la consommation d'énergie n'augmente pas or l'alimentation du biogaz implique l'apport de résidus – consommation de fuel liée à l'emploi de tracteur par exemple. Le bilan énergétique demanderait à être calculé.

[Denis Gautier]

Je souhaite à présent aborder les questions de méthode afin de proposer une représentation systématique partagée avec les acteurs.

Schéma 10. Les quatre étapes du protocole pour la modélisation conceptuelle d'un agroécosystème et ses principaux composants



Source : Lamanda et al., 2012.

Ce protocole se décompose en trois parties : (i) une modélisation conceptuelle ; (ii) une méthode qui part de la définition de l'objet pour y revenir ; (iii) les limites, les intrants, les extrants et les composants. Ce découpage introduit de nouveaux éléments tels que les variables d'action, les dynamiques de l'environnement et les hypothèses retenues, ou non, par rapport au modèle conçu selon l'analyse systémique.

- Étape 1 : l'analyse structurale – dans cet exemple, le nombre d'entre-nœuds d'une plante.
- Étape 2 : l'analyse fonctionnelle – la production de biomasse.

- Étape 3 : la dynamique – augmentation du nombre d'entre-nœuds (structure) et augmentation du biomasse (fonction).
- Étape 4 : l'analyse de la cohérence par rapport au problème défini – si le nombre d'entre-nœuds augmente, cela est-il cohérent avec la production de biomasse à l'échelle de la plante par exemple ? À l'échelle de la parcelle et non plus de la plante, on noterait une absence de cohérence ; au niveau de la parcelle, on regarderait la densité des plantes et on l'associerait à la biomasse de chaque plante.
- À ces quatre étapes s'ajoute la vérification de l'hypothèse : vérifier si plus on a d'entre-nœuds plus on a de biomasse et si ce n'est pas le cas redéfinir l'hypothèse et le modèle.

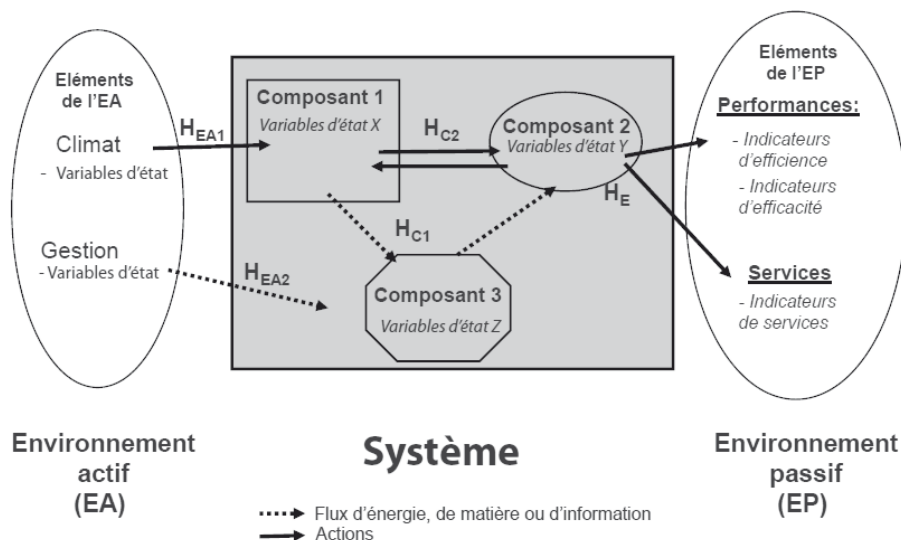
La méthode définit la question sur l'objet, dans notre cas la biomasse. Nous avons identifié précédemment les composants – la production végétale et animale, la transformation des produits et les pâturages –, nous les avons reliés aux intrants et extrants, et entres eux. Puis, les ultimes démarches identifient les étapes clefs du cycle du système tel que nous l'avons abordé dans le cas du système du biogaz, et le contrôle des changements de culture et de fonction. La cohérence entre le problème et le modèle doit être assurée – le modèle doit être modifié si la fonction « plus d'entre-nœuds plus de biomasse » n'est pas vérifiée par exemple.

En dernier lieu – colonne à l'extrême droite du schéma –, dans le cadre des limites du système étudié (la plante), il faut déterminer la meilleure unité afin de discuter de la production de biomasse et la répartition entre les différentes exploitations. Les intrants vont être l'environnement : la lumière, l'eau, les nutriments ; les extrants, la production de matière sèche (biomasse), la quantité d'azote et d'eau (le nombre d'entre nœud est une variable d'état). Les variables d'état identifient ce qui est lié à la structure – le nombre d'entre-nœuds, le stock de biomasse (matière sèche produite), d'azote et d'eau dans les entre-nœuds produits. Les variables de flux sont liées à la fonction – pour nos propos, la matière sèche sénescence, la matière sèche verte, le flux d'eau du sol à la plante, la lumière interceptée, etc. Quant aux variables d'action, cela peut être des animaux détruisant la semence et empêchant la pousse, les oiseaux qui se posent sur la plante et la cassent, etc. Enfin, les interactions sont définies par le transfert de biomasse d'un entre-nœud à l'autre ainsi que par le facteur hydrique – s'il y a de l'azote disponible mais pas assez d'eau, l'azote ne peut pas monter à la plante).

Voici un exemple de modèle conceptuel. (cf. schéma 11)

Le schéma doit être lu de la gauche vers la droite. L'environnement actif (EA) regroupe des éléments qui influencent le système, comme le climat ou le mode de gestion du système. Ils sont caractérisés par des variables d'état qui définissent les composants du système. Le système lui-même est défini par ses limites et par une combinaison de « n » composants de différents types. Chaque composant est caractérisé par des variables d'état (x ; y ; z) qui mettent en relation chacun de ces composants avec l'environnement actif, avec les autres composants et avec l'environnement passif (avec des variables de flux ou d'actions). Ce diagramme montre les hypothèses selon lesquelles les éléments de l'environnement actif sont liés aux composants du système (HEA), les hypothèses liant les composants entre eux (HC) et les hypothèses liant les composants du système aux éléments de l'environnement passif (HEP).

Schéma 11. Un exemple de modèle conceptuel d'un agroécosystème



Source : op. cit.

Par exemple :

- HEA1 : le climat agit sur le composant 1 à travers une variable d'action qui modifie la variable d'état X ;
- HEA2 : la variable d'état "mode de gestion" détermine le flux du composant 3 qui va changer la variable d'état Z ;
- HC1 : le composant 1 agit sur le composant 3 ; son action déclenche une action sur le composant 2 qui influence le composant 3 (action indirecte entre les composants 1 et 2 à travers le composant 3) ;
- HC2 : le composant 1 agit directement sur le composant 2 qui en retour agit sur le composant 1 (boucle de rétroaction).

Si l'on reprend l'exemple de la plante, l'ensemble du système est un entre-noeud qui produit de la biomasse.

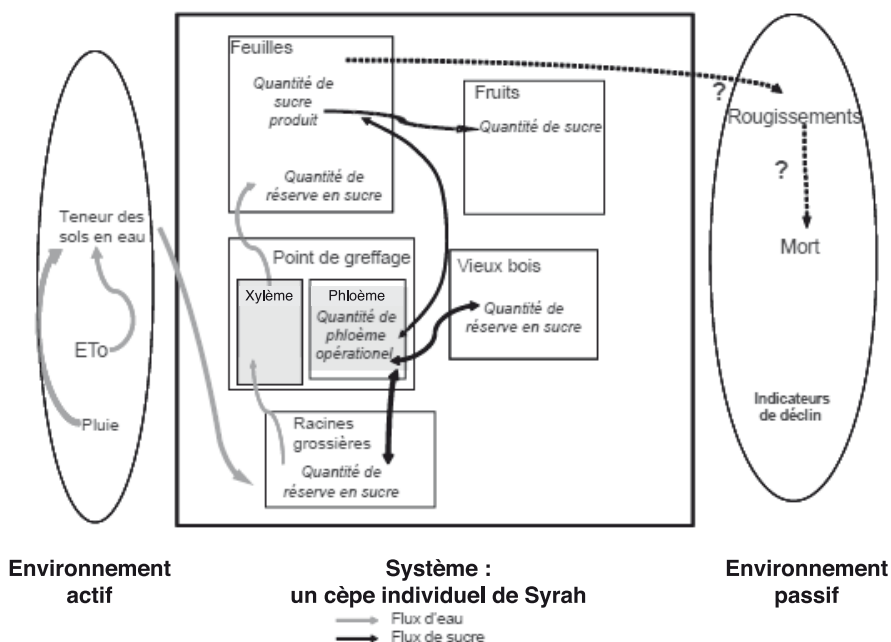
- Le composant 1 est le stock d'eau, la variable d'état est la quantité d'eau.
- Le composant 2 est le stock de matière sèche et la variable d'état est la quantité de matière sèche.
- Le composant 3 est le stock d'azote et la variable d'état est la quantité d'azote.

- Les interactions sont que pour avoir la matière sèche on a besoin d'eau et d'azote.
- La dynamique est la formation continue d'entre-nœuds pour produire de la biomasse.

Enfin, le service peut être la quantité de biomasse qui reste sur la parcelle afin de couvrir le sol – service écosystémique. Les performances se caractérisent par les indicateurs d'efficacité – la matière produite sur l'azote prélevé – et l'efficacité – la matière produite sur l'azote disponible.

Ce schéma illustre un modèle conceptuel du fonctionnement de la mort d'un cépage de vigne, le Syrah.

Schéma 12. Une application de ce modèle conceptuel à l'analyse fonctionnelle du déclin du cépage de vin Syrah



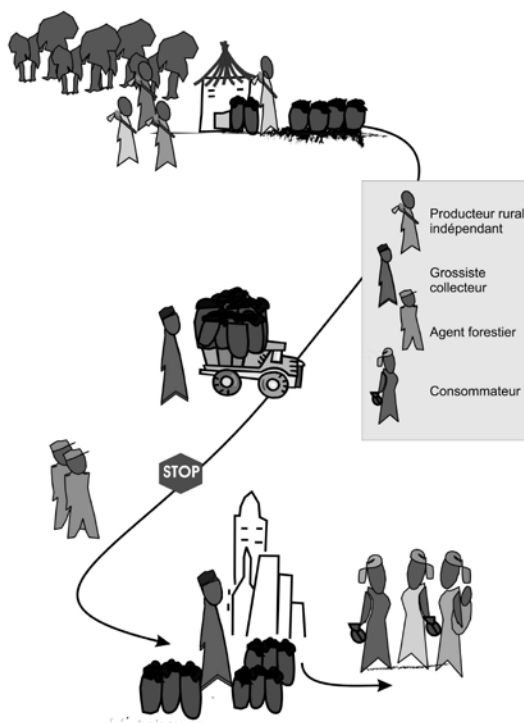
Le système a quatre composants : les racines grossières, le point de greffage, le vieux bois, et les fruits. Les variables d'état qui caractérisent chacun de ces composants sont en italique.

Les éléments de l'environnement actif sont uniquement des facteurs biophysiques – l'évapotranspiration de référence ETo, la pluviométrie et ses effets sur la teneur en eau dans les sols. L'environnement passif est défini par des indicateurs de détérioration de la vigne – le rougissemment

des feuilles, la mort de la plante. Les flèches grises correspondent aux flux principaux de l'eau en termes quantitatifs ; les flèches noires correspondent aux flux de carbohydate.

Nous allons désormais réaliser à titre d'exercice l'analyse systémique de la filière d'approvisionnement en bois-énergie de la ville de Bamako au Mali (bois de feu et charbon) que nous avons étudiée avec Laurent Gazull. À partir de cet exemple, notre objectif est de construire ensemble un modèle conceptuel.

Schéma 13. La filière de Bamako



Source : construction de l'auteur.

Les premiers agents sont les producteurs de bois et les charbonniers. Ils peuvent être regroupés en « groupes professionnels de bûcherons » ou être indépendants avec ou sans permis. Puis, arrivent de la ville de Bamako des transporteurs et des grossistes-collecteurs de bois et de charbon. On note également des consommateurs locaux puisque le milieu rural implique la présence de consommateurs de bois et de charbon. L'agent forestier doit réglementer les ventes et les coupes. Le bois et le charbon sont transportés par la route jusqu'à Bamako ; ils peuvent être contrôlés par des forestiers

– permis de coupe, de transport et quantité de bois transportée. Il s'agit d'un composant régulateur de la filière. Enfin, le grossiste peut se rendre sur le marché et vendre à des détaillants.

La journée 3 sera consacrée à un jeu de rôle à partir de cette filière.

L'atelier doit effectuer par groupe de travail une modélisation systémique schématique de la filière. La première étape est l'identification des composants du système, de l'arbre à la cuisine. Chaque groupe expose son analyse.

[Laurent Gazull]

Nous travaillerons demain sur l'analyse des transitions énergétiques à partir de trois innovations : l'éthanol au Brésil (Sperling, 1987), l'huile de jatropha en Indonésie (Suraya, 2014) et le biogaz en Chine (Zuzhang, 2013 ; Li *et al.*, 2014).

Les textes sont distribués à l'atelier afin que les stagiaires puissent sélectionner l'étude de cas pour la session du lendemain.

Journée 2, mardi 11 juillet

2.2.2. L'analyse du changement sociotechnique et de l'innovation

[Laurent Gazull]

Nous allons procéder en deux étapes : une première intervention portera ce matin sur l'analyse du changement et de l'innovation ; l'après-midi sera consacré à des travaux pratiques à partir des textes distribués hier.

La transition énergétique est un changement sociotechnique. Elle suppose une évolution simultanée des technologies de production/transformation de l'énergie et des sociétés qui utilisent l'énergie produite. Cette transition implique donc des changements des modes de consommation. Elle renvoie finalement aux innovations tant technologiques qu'organisationnelles.

Qu'est ce qu'une innovation ? Comment naissent-elles et comment se développent-elles ?

L'innovation a été définie par l'économiste américain Schumpeter comme une invention qui a trouvé un marché monétaire (Schumpeter, 1934).

Depuis, la définition a quelque peu évolué : on parle de quelque chose de nouveau s'intégrant dans un tout organisé, structuré, fonctionnel. L'innovation correspond à la fois à des processus (invention, création, apprentissage, diffusion) et à leur résultat.

Schumpeter distingue cinq processus pouvant donner lieu à de l'innovation :

- la fabrication de biens nouveaux ;
- un besoin de nouvelles méthodes de production ;
- un nouveau marché – un même produit est utilisé dans un autre marché ;
- la découverte et l'utilisation de nouvelles matières premières – marché des biens renouvelables ;
- les nouvelles façons de travailler – travail à distance.

Le domaine des bioénergies rassemble toutes ces catégories d'innovations : nouvelles méthodes de production et de travail, nouvelles matières premières et nouveaux débouchés.

On distingue deux grands types d'innovations :

- les innovations incrémentales. Elles sont juste une amélioration de l'existant sans bouleverser tout l'environnement – cas du biodiésel.
- L'innovation de rupture/radicale – cas du smartphone, de la carte à puce ou encore de capsules de café qui amènent le consommateur à acheter une nouvelle machine et le contraignent à des achats dans des magasins spécialisés.

Dans le monde des bioénergies, les innovations liées à l'éthanol et aux pellets (granulés de bois) sont plus radicales que le diésel. Premièrement, il est impossible de faire fonctionner une voiture classique avec juste de l'éthanol, un moteur approprié est nécessaire. Au Brésil, le succès de la politique de l'éthanol est lié à la création de chaînes de production d'éthanol mais aussi de voitures adaptées. Deuxièmement, l'éthanol est moins concentré en énergie que l'essence. Cela a amené le Brésil à développer des stations service de pompes à essence équipées d'éthanol dans tout le pays.

Les pellets concentrent l'énergie dans un petit élément, facilement transportable. Leur utilisation implique l'abandon de la cheminée ou du foyer ouvert – certains foyers sont alimentés automatiquement comme une cuve au fuel. En amont, la chaîne de production des pellets est une nouveauté pour les forestiers. Enfin, le transport est aisé et la distribution s'effectue à l'échelle de la planète.

L'analyse de l'innovation est délicate et non normalisée, il n'y a pas véritablement de méthode normalisée car elle dépend de la définition donnée et du type d'innovation concernée.

Schumpeter voit l'innovation par le prisme des innovateurs, des entrepreneurs qui ont la faculté de mettre en relation un marché avec une technologie. Le sociologue et statisticien américain Rogers parle d'innovation comme un phénomène individuel, de décision des consommateurs ; l'innovation est alors le résultat d'une décision et d'une adoption (Rogers, 1962). À partir des années 1970, les sociologues s'emparent du processus : l'innovation est le fait d'un réseau d'acteurs qui échangent de l'information et construisent une forme d'intérêt commun pour le changement – acteurs en interaction et système.

Les années 2000 marquent plusieurs tentatives de développement visant à expliquer voire conduire le changement technologique – la théorie des niches d'innovation s'est particulièrement intéressée aux énergies renouvelables.

Enfin, depuis une vingtaine d'années, les économistes – courant de l'économie institutionnelle – ont tenté d'incorporer des éléments institutionnels dans l'analyse économique du changement technique et on conceptualise la notion de « système d'innovation ». Il s'agit d'un ensemble d'agents économiques – États, institutions, entreprises, individus, etc. – qui interagissent en réseau afin de développer une structure et des fonctions dont le but est de faire émerger l'innovation.

Examinons à présent trois principaux outils d'analyse de l'innovation :

- la diffusion des innovations développée par Rogers ;
- l'analyse sociotechnique ; comment appréhender l'innovation comme un phénomène sociologique ? ;
- l'innovation comme résultat d'un système d'innovation.

Les travaux pratiques de cette journée reposent sur ce cadre d'analyse.

Rogers a théorisé le phénomène de diffusion, comment naît l'innovation dans une société puis est adoptée par le plus grand nombre ? Il se place du point de vue du consommateur final, de l'utilisateur, qui fait partie d'un réseau de communication. L'utilisateur prend connaissance d'une invention en fonction sa personnalité, de son degré d'ouverture au monde extérieur mais aussi de ses caractéristiques socioéconomiques. L'invention est ensuite évaluée, analysée en fonction de ses différentes caractéristiques : quel est l'avantage relatif d'utilisation par rapport à l'existant ? Est-ce compatible avec mon mode de vie ou d'utilisation ? Est-ce complexe ?

Pour Rogers, tout processus d'innovation suit la courbe du graphique (cf. graphique 14). Au début de l'innovation, il y a un ensemble d'individus, « les pionniers », qui acceptent le risque même si le phénomène n'est pas généralisé. Il ne s'agit pas des entrepreneurs de Schumpeter mais de consommateurs qui aiment la nouveauté. Peu nombreux, ils vont montrer aux autres l'intérêt de l'innovation.

Les innovateurs sont des individus qui, eux, peuvent réagir rapidement et augmenter le nombre d'adoptants. Le processus amorcé, la majorité précoce ou tardive de la population adopte l'invention. Rogers a théorisé les effectifs dans une population donnée : les pionniers (3 %), les innovateurs (13 %), la majorité précoce et tardive (68 %) et les retardataires.

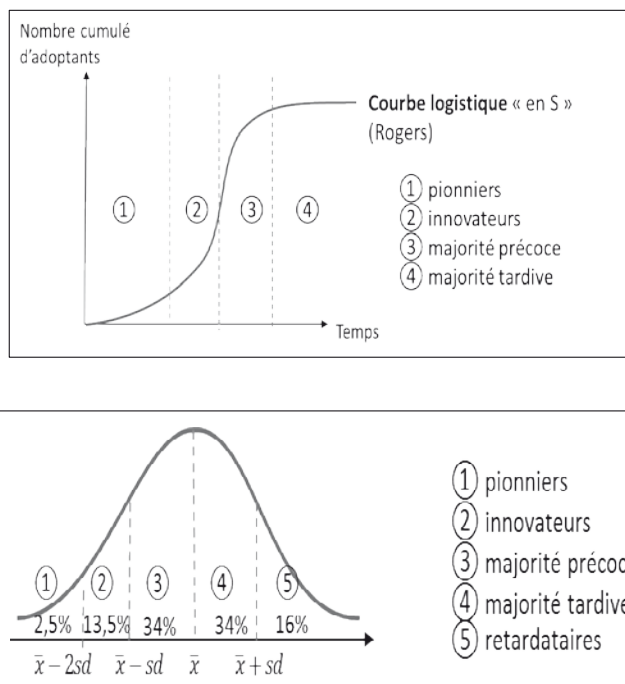
Une deuxième vision de l'innovation a été développée dans les années 1980 par les sociologues français Michel Callon, Bruno Latour et Madeleine Akrich, fondateurs à l'École nationale supérieure des mines de Paris de la chaire de sociologie de l'innovation – théorie de l'acteur-réseau ou sociologie de la traduction (Callon, 1999). L'approche de l'innovation repose sur l'art de l'intéressement. Le processus crée des liens inédits entre les acteurs : humains et objets. L'enrôlement se fait par le biais de porte-paroles dont l'objectif est de tisser des liens entre des communautés d'acteurs. Deux rôles principaux sont avancés :

- favoriser la communication, l'échange d'informations entre les acteurs ;
- porter l'intérêt du groupe que les acteurs représentent.

Un autre rôle est de « mobiliser des alliés », c'est à dire de mettre en actions les différents acteurs dans un intérêt commun. Ce réseau d'acteurs et de technologie est appelé « environnement ».

Cette théorie avance que l'environnement n'est pas extérieur à l'innovation : la technologie et les acteurs qui l'utilisent créent leur propre environnement.

Graphique 14. La diffusion des innovations



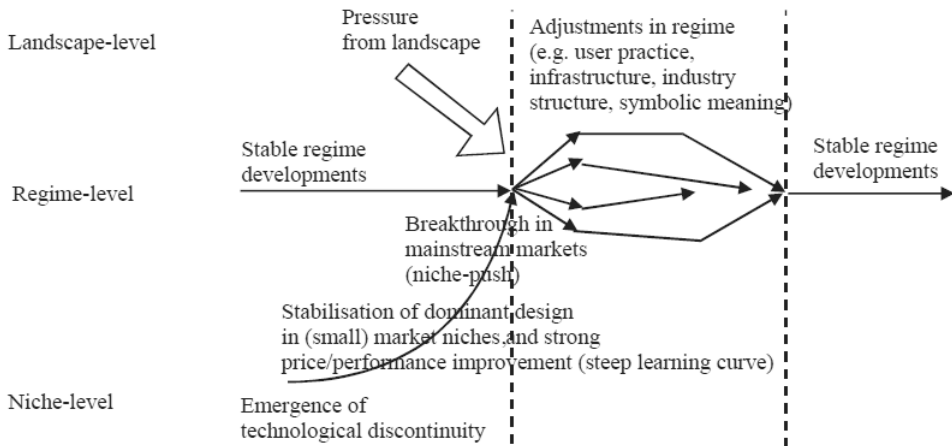
Source : Rogers, 1962.

Laurent Gazull illustre ces propos en présentant une publication de Madeleine Akrich relatant l'histoire d'une innovation liée aux bioénergies au Nicaragua – fabrication de briquettes combustibles à partir de tiges de coton afin de remplacer le charbon de bois et le bois de cuisson (Akrich, 1989). L'étude de cas démontre que l'innovation est un processus de co-adaptation de pratique et de technologie et que la rentabilité d'une invention est difficile à calculer – le succès d'une innovation implique sa rentabilité, et ce n'est pas parce qu'une invention est économiquement viable a priori qu'elle produira de l'innovation.

Dans les années 2000, Rip, Kemp et Geels (Rip et Kemp, 1998 ; Geels, 2002) proposent le cadre d'analyse multiniveaux. Cette théorie explique comment l'innovation est introduite dans un « régime

sociotechnique » – nos comportements de consommation, associant des règles sociales et une technologie, sont facteurs d'évolution de la société.

Schéma 14. Le changement sociotechnique selon la perspective multiniveaux



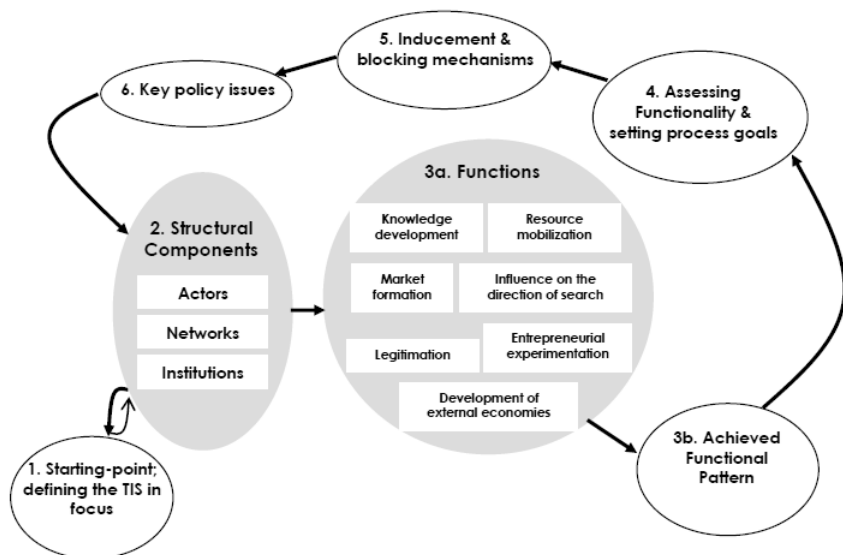
Source : Geels, 2002.

En parallèle ou à l'intérieur du socio-régime, des inventions se développent dans des niches technologiques – entreprises, centres de recherches, etc – où elles sont testées et développées pour devenir de l'innovation potentielle. L'invention est la nouveauté technologique et devient innovation lorsqu'elle est diffusée.

Les niches et le régime sont soumis à un environnement global nommé un « paysage ». Lorsque l'environnement général crée une pression sur le régime sociotechnique s'ouvrent alors des fenêtres d'opportunités : les inventions en stade pré-innovation deviennent des innovations, elles remplacent ou modifient le régime sociotechnique. Typiquement, il s'agit des engagements pris lors de la Conférence de Paris en 2015 (COP21) ou encore des difficultés d'approvisionnement en pétrole pour certains pays qui sont autant de facteurs d'opportunités pour toutes les innovations dans le domaine des énergies renouvelables. Ce schéma a été repris dans de nombreuses publications pour expliquer la transition énergétique ; une principale critique est que les changements de régime sociotechnique et les innovations ne sont possibles que lors d'une déstabilisation à partir de l'environnement extérieur.

Le système d'innovation, concept et outil, a été développé dans la décennie 2000 par des économistes qui ne se satisfaisaient pas de la théorie de Rogers, et encore moins de celle de Schumpeter.

Schéma 15. La décomposition d'un système d'innovation et son cadre d'analyse



Source : Bergek et al., 2008.

Il s'agit d'introduire des éléments institutionnels dans l'analyse économique du changement. L'innovation est un processus collectif issu d'un réseau d'acteurs, de sous-réseaux, de marchés et d'institutions inter-connectées. Comme tout système, le système d'innovation a une structure et un fonctionnement dont l'objectif principal est de permettre le processus d'innovation, de le développer et le diffuser.

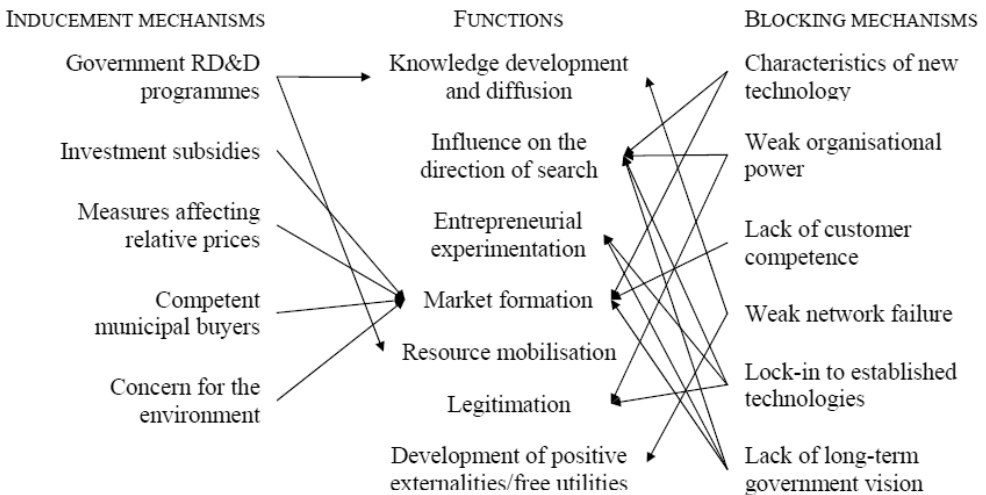
La structure de ce système est classique – des acteurs forment des réseaux et des institutions – mais les fonctionnalités du système sont posées.

- (1) Développement de connaissances et circulation de l'information entre les acteurs, les institutions et les différents réseaux – en particulier depuis les institutions de recherche vers les utilisateurs ou des réseaux d'entrepreneurs.
- (2) Les mécanismes financiers favorisent avant tout la formation du marché – à partir de subventions, de taxes, etc.
- (3) Rendre l'innovation légitime au sein de la société.
- (4) Mobilisation de ressources financières – un des rôles du système d'innovation est de faire circuler des capitaux, des ressources d'information, de matière, etc, afin que toutes les ressources soient facilement mobilisables.

- (5) Agir sur la direction de la recherche – *lobbying* auprès des institutions de recherches et des États pour orienter les recherches vers des produits spécifiques.
- (6) Favoriser l'expérimentation en entreprise.
- (7) Externalité économique. L'invention en elle-même et son marché ne suffisent pas, il faut des retombées externes sur d'autres secteurs ou d'autres marchés – externalités financières ou environnementales.

Dans un premier temps, l'analyse porte sur la structure du système d'information c'est à dire l'identification des acteurs, des institutions, des réseaux, etc., qui s'intéressent ou qui travaillent autour d'une innovation. Puis se pose des questions autour des fonctions : toutes les fonctions sont-elles satisfaites ? Quels sont les porteurs du développement de la connaissance, de la mobilisation des ressources ? Enfin, il faut identifier les mécanismes de blocages ou/et d'incitation sur les différentes fonctions. Ce schéma représente les sept fonctions encadrées par les facteurs qui les favorisent ou les bloquent.

Schéma 16. Liens entre le mécanisme d'incitation / blocage et les fonctions dans le cas des énergies renouvelables en Suède



Source : Johnson et Jacobsson, 2000.

Les fonctions de développement de la connaissance sont appuyées par des programmes gouvernementaux de recherche et développement mais ils peuvent être bloqués par des réseaux de recherche trop peu développés. Des efforts sont réalisés pour la formation du marché : les subventions, les mesures sur les prix, la création d'acheteurs publics et une conscience générale

pour l'environnement sont autant de facteurs favorables. On note un certain nombre de facteurs de blocages : absence de vision à long terme du gouvernement ou/et de compétence de la part des consommateurs, caractéristiques des nouvelles technologies comme frein à la formation de marché. Le schéma met également en avant le manque d'actions vers une légitimité des solutions, pour créer de l'expérimentation entrepreneuriale, développer des externalités positives.

Ce schéma est intéressant car il offre une grille de lecture d'une innovation ou d'un processus en cours d'innovation.

À titre d'exemple, Laurent Gazull retrace l'histoire de panneaux photovoltaïques développés en Allemagne (Bergek et al., 2008).

L'après-midi est consacrée à des travaux pratiques à partir des textes distribués la veille décrivant l'évolution d'une innovation dans le monde des bioénergies (jatropha en Indonésie, éthanol au Brésil et biogaz en Chine) ; l'analyse des innovations doit suivre la grille de lecture exposée (cf. les sept fonctionnalités d'un système d'innovation). Les groupes de travail se focalisent sur les points de blocages et de facilitation puis proposent des stratégies en interaction avec l'ensemble des stagiaires et les formateurs.

Journée 3, mercredi 12 juillet

La matinée est consacrée au jeu de rôle Djolibois élaboré par le CIRAD au Mali puis mis en œuvre pour sensibiliser les acteurs de l'approvisionnement en bois-énergie de la ville de Bamako au manque de coordination et d'information au sein de la filière (cf. Journée 1).

Le jeu est conçu et utilisé comme (i) un outil de recherche et de diagnostic pour identifier les stratégies des acteurs de la filière, (ii) un outil d'aide à la décision permettant de simuler diverses solutions de gestion et (iii) un outil d'information auprès des acteurs de la filière, des (nouvelles) règles de gestion édictées par l'administration.

Journée 4, jeudi 13 juillet

2.2.3. Prospective(s) : démarche, méthodes, outils

[Hélène Dessard]

Nous allons aborder quelques aspects de la prospective – « *foresight* » en anglais – et de ses méthodes. Cette démarche s'appuie à la fois sur l'analyse systémique examinée avec Denis Gautier et celle des systèmes d'innovation présenté par Laurent Gazull. Elle permet d'explorer la transition de systèmes complexes sur un temps long. Parmi les nombreuses définitions de la prospective, nous en retiendrons deux : (i) la prospective est une méthode d'investigation du futur par l'analyse des mécanismes de fonctionnement d'une société et des processus d'évolution qui sont inhérents à ces mécanismes ; (ii) il s'agit d'une anticipation (préactive et proactive) pour éclairer l'action présente à la lumière des futurs possibles et souhaitables.

Schéma 17. Concepts de base de la démarche prospective.
L'exemple du *Millenium Ecosytem Assessment*



Source : MEA, 2005.

Prenons l'exemple de l'évaluation des écosystèmes pour le millénaire – *Millenium Ecosystems Assessment* (MEA) – par application de la méthode des scénarios (MEA, 2005).

Quatre scénarios plausibles explorent le futur des écosystèmes et l'impact de leur évolution sur le bien-être humain pour les 50 années à venir et au-delà. Ces scénarios ont été construits à partir de la formulation d'hypothèses sur les forces, et leurs interactions, qui sous-tendent les changements des écosystèmes. Elles sont résumées par deux grands axes structurants, l'un correspondant à un gradient de globalisation/régionalisation. L'autre axe positionne deux approches différentes de la gestion des écosystèmes : les problèmes sont avérés et, en conséquence, des mesures sont prises de façon réactive ; la gestion des écosystèmes est proactive et vise délibérément la préservation à long terme des services fournis par les écosystèmes.

Le scénario *Global Orchestration* (GO) est caractérisé par un niveau élevé de mondialisation, une croissance économique rapide, mais aussi des politiques d'investissement dans les biens publics ; cependant l'approche reste seulement réactive aux principaux problèmes environnementaux. À l'opposé, le scénario *Adapting Mosaic* (AM) est basé sur un niveau moindre d'intégration des économies internationales et de croissance du produit intérieur brut (PIB) ; le développement local est privilégié par rapport aux échanges internationaux. L'attitude est proactive vis-à-vis des problèmes environnementaux grâce à des institutions locales renforcées. Le scénario *Techno Garden* (TG) propose une vision d'un monde très intégré internationalement, à forte croissance économique, soutenue par le développement global de technologies environnementales de pointe et d'ingénierie écologique. Enfin, le scénario *Order by Strength* (OS) définit un monde préoccupé avant tout par les problèmes de sécurité, refermé sur des marchés régionaux et une gestion réactive des écosystèmes – par création d'aires protégées par exemple.

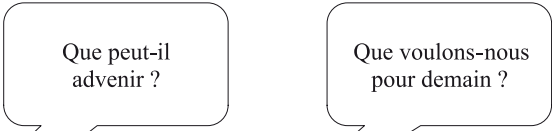
Ces scénarios constituent quatre récits exploratoires plausibles contenant des éléments de réflexions pour permettre aux décideurs publics et privés de construire un plan d'action de gestion des écosystèmes dans un contexte d'incertitudes. Il s'agissait surtout de faire prendre conscience aux décideurs de l'importance de la biodiversité pour le développement économique et le bien-être humain et éviter des irréversibilités en provoquant un changement d'attitude : de la réactivité à la proactivité.

On doit à Özbekhan, la méthode des scénarios, beaucoup développée en France dans les années 1970-1980 pour réfléchir l'aménagement du territoire, et les concepts de préactivité – se préparer aux changements prévisibles – et de proactivité – agir pour provoquer les changements souhaités (Shearer, 2005). L'attitude prospective vise à maîtriser le changement attendu (être préactif) et à provoquer le changement souhaité (proactif). Les méthodes de la prospective ne se limitent pas aux scénarios, bien que ceux-ci soient les plus employés aujourd'hui – on consultera Popper (2008) pour une revue.

En résumé, les études prospectives visent différents objectifs : analyser de façon approfondie la réalité que l'on entend faire évoluer ; identifier des enjeux ; élaborer une vision partagée (émergence de consensus) ; réagir aux changements avant qu'ils n'imposent leur logique ; anticiper les changements en étant « proactif » ; élaborer collectivement les discours du futur (apprentissage social) ; orienter les politiques publiques et les processus de planification (outil d'aide à la décision).

Une première distinction, fondamentale, oppose la prospective exploratoire et la prospective normative.

Tableau 2. Types de prospectives



<div>Chemin présent/ futur</div> <div>Attitude face à l'incertitude</div>	<div>Que peut-il advenir ?</div> <div>Prospective exploratoire Partir du présent pour explorer les futurs</div>	<div>Que voulons-nous pour demain ?</div> <div>Prospective normative Partir de visions contrastées du futur pour évaluer leurs conditions de réalisation</div>
Construire des certitudes	Tendances lourdes	Futurs contrastés
Agir en situation d'incertitude	Rupture et signaux faibles	Stratégie et <i>backcasting</i>

Source : Les cahiers du développement durable en Île-de-France, 2013.

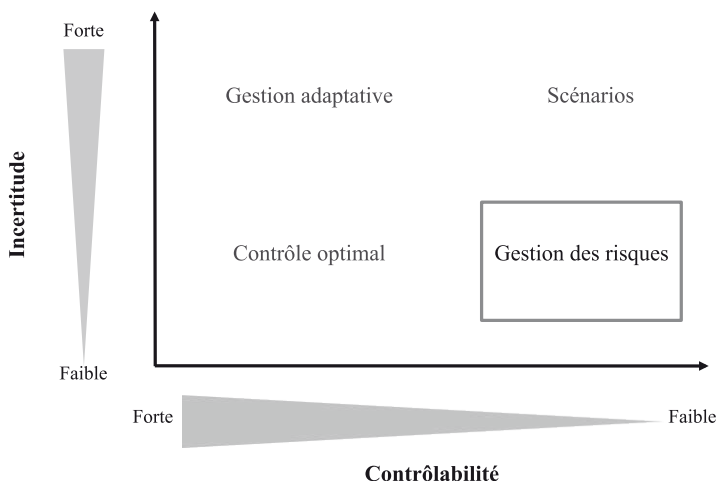
Dans le premier cas, on part du présent pour explorer des hypothèses de changements à long terme et leurs conséquences. Dans le second, il s'agit au contraire de construire des visions contrastées du futur et d'en calculer les conditions de réalisation. À l'intérieur de ces deux grandes catégories, des distinctions plus fines conduisent à opposer :

- au sein de la prospective exploratoire, une prospective des « tendances lourdes » (proche de la prévision) et de « ruptures » ou « signaux faibles » ;
- au sein de la prospective normative, une prospective centrée sur la « construction de visions contrastées du futur » et une prospective stratégique, où il s'agit de définir les conditions et possibilités de réalisation d'un objectif (ou scénario) considéré comme souhaitable *a priori* (démarche « *backcasting* »).

La méthode des scénarios cherche à mettre en évidence d'une part les tendances lourdes et d'autre part les facteurs de changement qui permettent de repérer des transformations possibles vers des états nouveaux. Le plus souvent, les travaux de prospective fondés sur la méthode des scénarios déterminent un scénario tendanciel qui traduit les transformations du système en l'absence de toute intervention déterminante des acteurs, et un ou plusieurs scénarios contrastés qui reposent sur quelques hypothèses d'actions, de transformation des comportements ou de changements importants dans l'environnement politique et économique.

On ne détaillera que la méthode des scénarios sachant que différents outils peuvent également être mobilisés pour les construire (Godet, 2007).

Schéma 18. La construction de scénarios



Source : construction de l'auteur.

La méthode des scénarios est la plus usitée, notamment face à un niveau d'incertitude élevé et une contrôlabilité faible. Un scénario est un récit cohérent qui décrit une situation future, une anticipation pour un sujet spécifique. Cette approche permet de mobiliser un ensemble d'acteurs, d'identifier des enjeux et des incertitudes, de les rendre appréhendables et de déterminer des étapes de planification stratégique.

Deux types de démarches sont considérées : exploratoire – que se passerait-il s'il y avait tel événement ? – ou normative – il s'agit alors de répondre à la question « comment » ?

Les scénarios répondent à cinq différentes étapes de construction.

- Établissement d'un diagnostic du système étudié : sujet et horizon temporel de l'étude ; attendus précis, pertinence de la démarche ; institutions et personnes impliquées et rôles ; calendrier du projet, moyens.
- Représentation dynamique de système complexe : définition des variables (facteurs et acteurs) ; regroupement des variables en composantes (sous-systèmes).
- Construction d'un référentiel, d'une base prospective. On distingue les variables internes au système des variables externes qui font évoluer ce système. Pour chacune de ces variables, on définit des tendances à partir du passé pour comprendre leur évolution naturelle, sans

intervention d'aucun acteur par exemple. De nouveaux faits sont examinés même s'ils ne sont pas visibles pour ces variables. On peut imaginer des ruptures, des changements de directions. Les incertitudes qui pèsent sur les variables sont définies. L'analyse est centrée sur les objectifs et intérêts des acteurs ainsi que sur les relations de pouvoir nouées entre eux.

- Construction de scénarios. Parmi les différentes méthodes envisageables, l'analyse morphologique par exemple consiste à émettre des combinaisons d'hypothèses sur chacune des variables.
- Comparaison des scénarios, incluant éventuellement une évaluation chiffrée.

Tableau 3. Etapes de construction de scénarios

Scénarios	Exploratoire (Forecasting)	Normatif (Backcasting)
Démarche	Futurs possibles Point de départ : présent	Futurs souhaités Comment l'atteindre (théorie du changement) Point de départ : futur
Objectif	Exploratoire, connaissance, apprentissage	But, fonction cible développement d'une stratégie
Implémentation	Étude des opportunités et incertitudes, actions possibles et test de processus de décisions	Identification de buts intermédiaires et de chemins possibles (<i>backcasting</i>)
Question centrale	Que se passe t-il ? Que se passerait-il si ?	Comment ?
Probabiliser	Éventuellement	Indirectement pour évaluer une planification

Source : Godet, 2007.

Les deux outils essentiels de construction sont l'approche matricielle et l'analyse morphologique (Godet, *op. cit.*) : cette dernière, très utilisée, consiste à combiner les variables des différentes composantes du système étudié en y ordonnant les incertitudes majeures, en tenant compte des compatibilités entre hypothèses émises sur les variables et justifiant les conjonctions ainsi réalisées.

Une étude commanditée par le ministère de l'Agriculture français en 2010 a ainsi utilisée cet outil pour explorer le devenir de l'agriculture face à la transition énergétique.

Tableau 4. Scénarios : liens entre l'agriculture et l'énergie en France

	Scénario 1 Territorialisation et sobriété face à la crise	Scénario 2 Agriculture duale et réalisme énergétique	Scénario 3 Agriculture-santé sans contrainte énergétique forte	Scénario 4 Agriculture écologique et maîtrise de l'énergie
Contexte global	Crise énergétique et climatique Repli des échanges Prix du pétrole durablement élevé	Croissance conventionnelle et régulation par le marché Forte volatilité et hausse tendancielle du prix du baril	Stratégies défensives, spécialisations compétitives Stabilisation du prix du pétrole	Coopération international accrue Prix du carbone élevé
Transport et organisation des filières	Relocalisation à l'échelle régionale Rééquilibrage des bassins de production	Spécialisation des territoires et accroissement des disparités Augmentation des flux	Croissance de l'innovation dans les transports Très fort poids de l'aval sur les filières	Recentrage sur l'Europe et report modal Modernisation écologique des filières
Politiques publiques	Forte montée en puissance des régions Mosaïque de politiques énergétiques, agricoles et environnementales	Repli de l'action publique Forte baisse des aides agricoles mais rémunération des services environnementaux	Métropolisation et efforts modérés en matière d'énergie et de climat Politique ambitieuse d'alimentation santé	Priorité environnementale forte Politique publique intégrée et ambitieuse
Agriculteurs et société	Diversification et multifonctionnalité Attachement au territoire, développement local	Désinstitutionalisation du secteur agricole Dualisation	Focalisation sur les enjeux nutrition- santé Restructuration et productivité	Consensus environnemental fort Mobilisation des agriculteurs, des consommateurs et des pouvoirs publics

Source : Prospective Agriculture Énergie 2030, 2010.

Cette étude repose sur une démarche de prospective exploratoire dont l'objectif était de comprendre l'évolution des exploitations françaises face au défi de la transition énergétique.

L'intérêt pour cette question était motivé par la place majeure des énergies fossiles dans le dispositif de rentabilité des exploitations agricoles françaises. Les itinéraires techniques de ces exploitations agricoles induisent un stockage de carbone et il était intéressant de dresser un bilan énergétique dans le cadre du changement climatique. La question était aussi de se demander comment diminuer la consommation d'énergie fossile et rendre cette agriculture productrice en bioénergie. La principale originalité était d'identifier des consommations d'énergie directe – fuel, gaz, électricité – et indirecte – transport, fabrication des intrants.

Chaque scénario est nommé et représente une évolution possible du système agricole français face à la crise énergétique à venir et au changement climatique.

La première composante correspond au « contexte global » c'est à dire l'environnement mondialisé dans lequel s'insère l'agriculture française – il s'agit souvent de variables sur lesquelles les acteurs du système considéré ont peu de prise. Les trois autres composantes décrivent le contexte d'intervention du système sur lequel on peut agir.

Ainsi ces scénarios permettent de juger des marges de manœuvre pour obtenir de meilleurs bilans énergétiques et identifier quels leviers l'action publique pourrait mobiliser.

[Laurent Gazull]

L'agriculture française est face à de fortes incertitudes, qu'il s'agisse du modèle agricole intensif ou par rapport au financement européen. Elle doit répondre à de nouvelles demandes énergétiques, organiques ou de santé publique. Compte tenu de ces demandes et des tendances d'évolution, quatre scénarios plausibles pour l'agriculture française ont été dressés à l'horizon 2030. Il s'agit de s'interroger sur les évolutions possibles ; chaque scénario suit une logique et une cohérence afin de tenter de répondre aux enjeux actuels. À partir de scénarios, il est possible de définir des politiques publiques ou de réaliser des études économiques et techniques pour évaluer le coût de passage financier, social ou environnemental.

Cet exercice de construction de logique en fonction de différentes composantes sera au cœur des travaux de groupe de la matinée de demain.

Journée 5, vendredi 14 juillet

L'atelier doit imaginer le futur énergétique de villages selon deux études de cas.

Tableau 5. Construction de scénarios exploratoires

Territoire	Type Madagascar	Type Vietnam
Situation de départ Une ville AVEC électricité	Villages SANS électricité	Villages AVEC électricité
<ul style="list-style-type: none"> - Décrire le système territorial - Référentiel prospectif - Variables clés - Hypothèses à combiner - Scénarios (au moins 2) 		

Source : construction des formateurs.

Le premier système est composé d'une ville centrale qui est alimentée en électricité à partir d'une centrale à charbon ou à fioul. Autour de la ville, les villages ne sont pas reliés au réseau électrique et dépendent avant tout du bois énergie. Les villageois cuisinent avec du charbon de bois ou des résidus agricoles. Dans certains villages, on note la présence de panneaux solaires. Dans ce monde rural, de petites entreprises produisent leur propre électricité à partir d'un groupe électrogène. Les ressources naturelles du territoire sont l'eau, le soleil, le bois, l'agriculture et l'élevage. La situation est typique à nombre de pays en développement.

Dans le second système, la ville centrale est également alimentée par une centrale à charbon ou à fioul. En revanche, un réseau électrique alimente les villages environnants. Les activités agricoles sont comparables et de petites industries agroalimentaires sont reliées au réseau. En revanche, la cuisine est toujours alimentée par le bois ou le charbon de bois. Cette situation est typique de pays émergent ou en développement.

L'après-midi est consacrée à l'élaboration de la présentation des travaux synthétiques de la semaine qui sera exposée en séance plénière en Journée 6.

Bibliographie

Akrich, M. (1989), « La construction d'un système sociotechnique : esquisse pour une anthropologie des techniques ». *Anthropologie et sociétés*, Québec : département d'Anthropologie, Faculté des sciences sociales, Université Laval.

Akrich, M., M. Callon et B. Latour (dir) (2006), *Sociologie de la traduction : textes fondateurs*, Paris, Mines ParisTech, les Presses, « Sciences sociales », Textes rassemblés par le Centre de sociologie de l'innovation, laboratoire de sociologie de Mines ParisTech.

Bergek, A., S. Jacobsson, B. Carlsson, S. Lindmark, et A. Rickne (2008), "Analyzing the Functional Dynamics of Technological Innovation Systems: A Scheme of Analysis", *Research Policy*, 37, pp. 407-429.

Bergek, A., M. Hekkert, et S. Jacobsson (2008), "Functions in Innovation Systems: A Framework for Analysing Energy System Dynamics and Identifying Goals for System-Building Activities by Entrepreneurs and Policy Makers". *Innovation for a Low Carbon Economy: Economic, Institutional and Management Approaches*, 79.

Callon, M. (1999), "Actor-network theory: the market test". In: Law, J. et J. Hassard, *Actor Network Theory and After*. Blackwell Publishers, Oxford, pp. 181-195.

Geels, F. W. (2002), "Technological Transitions as Evolutionary Reconfiguration Processes: a Multi-Level Perspective and a Case-Study", *Research Policy*, 31(8-9), pp. 1257-1274. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(02\)00062-8](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(02)00062-8).

Godet, M. (2007), *Manuel de prospective stratégique, Une indiscipline intellectuelle, tome 1-3*, édition Dunod.

Johnson, A., et S. Jacobsson (2000), "Inducement and Blocking Mechanisms in the Development of a New Industry: the Case of Renewable Energy Technology in Sweden", In R. Coombs, K. Green, A. Richards, & V. Walsh (dir), *Technology and the Market, Demand, Users and Innovation*. Cheltenham: Edward Elgar Publishing Ltd.

Meadows, D, D. Meadows, J. Randers et W. W. Behrens (1972), "The Limits to Growth", *Universe Books*. (ISBN 978-0-4510-9835-1)

Lamanda, N., S. Roux, S. Delmotte, A. Merot, B. Rapidel, M. Adam et J. Wery, J. (2012), "A Protocol for the Conceptualisation of an Agro-Ecosystem to Guide Data Acquisition and Analysis and Expert Knowledge Integration", *European Journal of Agronomy*, 38.

Les cahiers du développement durable en Île-de-France (2013), *La prospective appliquée aux projets territoriaux de développement durable*, n°10.

Li, J., B. Bluemling, A. P. J. Mol et T. Herzfeld (2014), "Stagnating Jatropha Biofuel Development in Southwest China: An Institutional Approach", *Sustainability*, 6, pp. 3192-3212.

Millennium Ecosystem Assessment (MEA) (2005), *Scenarios*, Washington D.C., Island Pres.

Popper, R. (2008), "Foresight Methodology", *The Handbook of Technology Foresight*, pp. 44-88.

Prospective Agriculture Énergie 2030 (2010), *L'agriculture face aux défis énergétiques* – Centre d'études et de prospective.

Rogers, E. M. (1962), *Diffusion of Innovations*, New York: Free Press of Glencoe.

Rip, A., et R. Kemp (1998), *Technological Change*. In S. Rayner et E. L. Malone (Eds.), *Human Choice and Climate Change*, vol. 2, Columbus, OH: Battelle Press.

Schumpeter, J. A. (1934), "The Nature and Necessity of a Price System", in Harris, Seymour E., Bernstein, Edward M., *Economic Reconstruction*, New York, London: McGraw-Hill

Shearer, A. W. (2005), "Approaching Scenario-Based Studies: Three Perceptions about the Future and Considerations for Landscape Planning." *Environment and planning B: Planning and Design* 32.1: pp. 67-87.

Siegmeier, T, B. Blumenstein et D. Möller (2015), "Farm Biogas Production in Organic Agriculture: System Implications", *Agricultural Systems*, Volume 139, octobre.

Sperling, D. (1987), *Brazil, Ethanol and the Process of System Change*, Energy, Vol. 12, N°1, Great Britain.

Suraya, A. A. (2014), "Engineering the Jatropha Hype in Indonesia", *Sustainability*, 6, pp. 1686-1704.

Zuzhang, X (2013), *Domestic Biogas in a Changing China: Can Biogas Still Meet the Energy Needs of China's Rural Households?* International Institute for Environment and Development, London.

Liste des stagiaires

Nom	Rattachement	Domaine/ discipline	Thème de Recherche	Courriel
Chafiaa Djouadi (auditeur libre)	Expert Arab Bank of the African Development (BADEA) Technical advisor for the Finance Ministry Cabinet du ministre/ Cellule de suivi et évaluation des projets Kinshasa, République démocratique du Congo	Développement durable	Modèles de développement dans les pays pauvres	chafiaa.djouadi@gmail.com
Rakotoarisoa Fanomezana Herijaniaina	Planète-Urgence Madagascar	Agronomie, foresterie	-	herijaniainarakotoarisoa@yahoo.fr
Hoàng Anh Vũ	Université de Quảng Bình	Sciences de l'environnement	Changement climatique, bioénergie	vuhoang304@gmail.com
Hứa Minh Trọng	Département des ressources naturelles et de l'environnement	Environnement	Ressources en eau, changement climatique	minhtrongbl@gmail.com
Randriamanantenana Lovasoa	Responsable suivi-évaluation/coordonateur Adjoint du projet ARINA	Filière bois-énergie	Filière bois-énergie	lovasoa.rl@gmail.com
Nguyen Binh Duong	École supérieure du commerce extérieur	Économie	Économie régionale	nguyenbinhduong.ftu@gmail.com
Nguyen Thu Huyen	Université des ressources naturelles et de l'environnement	Technologies de traitement des déchets solides	-	huyen.mt.gtv@gmail.com
Nguyen Duy Tam	Université d'économie de Hồ Chí Minh Ville	Économie, société et humanité	Croissance verte et développement durable	nguyenduytam@ueh.edu.vn
Nguyễn Hoàng Mỹ Phương	Chercheur indépendant	Économie, agriculture, anthropologie économique	<i>Commodity Markets and Risk Socialization: A Case Study of Southern Vietnamese Marketplaces</i>	menfuong@gmail.com
Nguyễn Ngọc Ánh	Université des ressources naturelles et de l'environnement de Hà Nội	Environnement, changement climatique, énergie	Solutions énergétiques et changement climatique	ngocanh40amt@gmail.com
Nguyễn Thị Hà Mi	Université de Cần Thơ	Utilisation de l'énergie renouvelable	Énergie renouvelable et développement durable, commune de Thach Thoi, district Vĩnh Thạnh, Cần Thơ	nthmi@ctu.edu.vn

Nom	Rattachement	Domaine/ discipline	Thème de Recherche	Courriel
Nguyễn Thị Huệ	Centre de recherche urbain	Gestion des ressources naturelles et de l'environnement	Développement urbain durable	nguyenhue1684@gmail.com
Nguyễn Thị Lan Anh	Université de Thái Nguyên	Économie du développement, management	Développement économique des ménages dans les régions défavorisées	ctminhanh@gmail.com
Nguyễn Thị Thân	International Center for Tropical Agriculture (CIAT)	Télédétection et systèmes d'information géographiques	Modèle prédictif d'occupation des sols, évaluation de la vulnérabilité au changement climatique	nguyenthan.dhqq@gmail.com
Nguyễn Thị Yến	Université d'agriculture et de sylviculture de Thái Nguyên	Économie du développement	Développement de l'agriculture rurale et pauvreté	Nguyenyen-linh03@yahoo.com
Phạm Thị Ngọc Sương	Open University - Hồ Chí Minh Ville	Économie agricole et développement rural	Économie agricole	suong.ptn@ou.edu.vn
Ching Sreytouch	École royale de notariat du Cambodge	Droit immobilier et droit de la famille	Financement immobilier	chingsreytouch@yahoo.com
Thái Thành Dư	Université de Cần Thơ	Développement énergétique durable	Production de biogaz commune de Ngã Bảy, Hậu Giang	dum3315002@student.ctu.edu.vn
Truong An Ha	Université des sciences et de la technologie de Hà Nội	Énergie Renouvelable	Bioénergie	truonganha87@gmail.com
Võ Hữu Hòa	Université Duy Tân, Đà Nẵng	Géographie rurale	Développement agricole	vohoadl@gmail.com
Võ Thị Diệu Thảo	Université Okayama, Huế	Pédologie	Nutrition des sols pour le développement des plantes médicinales en milieu d'érosion	hoahuong-duong172@gmail.com
Võ Thị Ngọc Tú	Centre de recherche sur des technologies et l'environnement Hải Âu, Hồ Chí Minh Ville	Technologie environnementale	Bioénergie	ngoctuvo.dhnn@gmail.com